

侵食崩壊を伴う急傾斜地を対象とした場合の 危険箇所評価方法の一提案

大林成行¹・小島尚人²・村上達也³

¹正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 工博 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (同上)

³正会員 工修 大成建設(株) (〒163-06 東京都新宿区西新宿1-25-1)

本研究は、筆者らが開発した斜面安定性評価モデル(SSEモデル)を「侵食崩壊を伴うシラス自然斜面の危険箇所評価」に適用する新しい方法を提案し、その実用性を示したものである。SSEモデルでは、衛星データと各種地理情報を融合利用し、崩壊発生箇所をトレーニングデータとして広域にわたる危険箇所を推定する。本研究では、崩壊履歴のある箇所を「現状型トレーニングデータ」とし、今後崩壊の危険性が高いと判断される侵食斜面や滑落崖の冠頂部周辺を「規範型トレーニングデータ」として設定する方法を提案した。さらに、現状型と規範型の評価図の違いを抽出した差画像を視覚表示するとともに、その解釈の方法を示した。この差画像と解釈の内容は、侵食崩壊を伴う潜在危険斜面を見出す上で今までにない有用な支援情報を内包していることを示している。

Key Words : erosive collapse, shirasu slope, training data, satellite multi-spectral data, geographical information, quantification method

1. はじめに

一瞬にして尊い人命を奪ってしまう斜面崩壊や地すべりによる災害は、古くから社会問題の一つとして取り上げられている。崩壊が「いつ(時期)」、「どこで(位置)」、「どの程度の大きさ(規模)」で発生するのかを事前に予測できる技術の確立が強く求められている。これら3つの予測要件のうち、筆者らは崩壊の発生「位置」と「規模」を事前に把握することを目的に、地形や表層地質、土壌といった各種地理情報と衛星マルチスペクトルデータ(以下、衛星データ)を融合利用できる斜面安定性評価モデル(SSE:Slope Stability Evaluation model using satellite data and geographical information)を開発し¹⁾、数々の適用事例を通して広域にわたる斜面崩壊発生箇所の事前評価に有効であることを示した²⁾。これまでの研究では第3紀層や破砕帯に広く発生し、一般に定義されている「地すべり」や「斜面崩壊」を評価対象としてきたが、適用事例を積み重ねるにつれて、シラス等の特殊土で構成され、表層侵食に伴って崩壊する急傾斜面の危険性評価にも適用できないかといった声もあがってきた。

SSEモデルでは衛星データと地理情報を融合利用し、崩壊が発生した箇所を「現状型トレーニングデー

タ」として崩壊危険箇所を抽出する。シラス自然斜面の場合には、表層侵食とともに規模の大きい地すべりが発生するだけでなく、局所的に表層の崩落、滑落、落下等が起こり、しかも崩壊斜面は連続して広く分布する。したがって、現状型トレーニングデータを用いた場合には、崩壊履歴のある斜面のほとんどが危険地帯として判定され、「侵食崩壊が進行する箇所」を見出していくことが難しいといった問題に直面した。

そこで、本研究では侵食崩壊が発生した箇所を現状型トレーニングデータとし、今後も崩壊の危険性が高いと判断される侵食斜面や滑落崖の冠頂部周辺を規範型トレーニングデータとして設定する方法を提案する。さらに、現状型と規範型の斜面安定性評価図の違いを抽出した差画像を提案・作成するとともに、この差画像と解釈の内容は、侵食崩壊を伴う斜面安定性評価を支援する上で今までにない有用な情報を内包していることを示す。

2. 従来の研究と本研究の意義

(1) シラス自然斜面の危険箇所評価と本研究の範囲

シラス斜面の崩壊問題を扱った研究は、古くから数多くあり、例えば道路沿線のシラス人工のり面を対象として崩壊要因を分析したものや³⁾、シラス自然斜面

を対象として、崩壊の周期性と発生場を予測しようとする研究等があげられる⁴⁾。現在に至ってもシラスそのものの土性を研究対象としたもの⁵⁾、シラス斜面の安定解析手法に関わる提案等も見られる⁶⁾。いずれにしてもシラス自然斜面は侵食を伴う表層崩壊であり、広域にわたって崩壊が発生する位置を推定することは極めて難しく、地形学的観点から、まず第1に「潜在危険斜面⁴⁾」を区分していくことの重要性が指摘されている。

本研究ではこの問題に着目し、シラス自然斜面に評価対象を絞った上で、一つの技術的支援策を提示する。すなわち、地形、表層地質、土壌といった各種地理情報と衛星データの併用技術（SSEモデル）が、侵食崩壊を伴う急傾斜地の危険性評価にも適用できる方法を提案する点において、本研究の特色がある。

（2）斜面安定性評価モデルの新たなニーズ

SSEモデルの特徴は従来までのような崩壊危険度のランク付けを行うことなく、崩壊危険性の「有・無」のみを判定することにある。従来までの崩壊危険度の判定は、アイテムやカテゴリーに対して人為的に重み付けを行う等、研究者の経験や主観に大きく左右されるといった問題が指摘されていた。これに対してSSEモデルは、数量化Ⅱ類によって各画素に付与されるスコア値を計算した後にトレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別によって判別区分点を設定し、崩壊側・未崩壊側のいずれに属するのかを判別する¹⁾。

トレーニングデータは、実際に崩壊が発生した箇所を現地調査や既存資料をもとに設定する。SSEモデルでは、これを現状型トレーニングデータと定義し、「斜面崩壊型」や「地すべり型」といった異なる種類のトレーニングデータに対しても斜面安定性評価図を作成できるようになっている²⁾。しかし、本研究で対象とするシラス自然斜面を対象とした場合、SSEモデルを適用する上で次のような新たな問題に直面した。

①シラス崩壊斜面は連続して広く分布する。したがって、崩壊発生箇所を現状型トレーニングデータとして設定した場合には、崩壊歴のある急傾斜面のほとんどが危険地帯として判定され、今後「侵食崩壊が進行する箇所」を見い出していくことは困難となる。

②シラス斜面の崩壊タイプは、表層剥離、表層滑落、表層落下等のように、過去の研究からいくつかのタイプに類型化されている。タイプ別に現状型トレーニングデータとなり得るが、前述と同様の問題に直面する。

いずれにしても現状型トレーニングデータを用いた場合には、いわゆる「現況の斜面崩壊履歴図」とでも言うべきものを作成することになり、将来にわたって

危険箇所を推定していく上で限界がある。このことが本研究の着想の原点でもあり、全く別の視点から研究を展開する必要に迫られることになった。

シラス自然斜面の危険性評価にもSSEモデルが適用できる方策として、本研究で提案するトレーニングデータの設定方法は、今までにない研究アプローチとなる。

（3）潜在危険斜面の評価

シラス斜面崩壊の予測問題では、侵食崩壊の発生を引き金となる箇所を特定することが求められている。このような箇所は潜在危険斜面⁴⁾と言われている。専門の技術者が地形図や地質図等の資料を判読し、極限られた領域の潜在危険斜面を図化する事例も見られるが、広域にわたって図化するためには、多くの時間と労力そして経費を要し、精度上の問題もある。この問題に対して、本研究では現状型と規範型のトレーニングデータから作成される斜面安定性評価図の違いを抽出した「差画像」を提案・作成する。この差画像と解釈の内容が、侵食崩壊を伴う潜在危険斜面を推定していく上で、今までにない有用な支援情報となることを示す。トレーニングデータの設定方法の提案につく本研究の第2の特色となる。

3. トレーニングデータ設定の考え方

（1）現状型トレーニングデータ

シラス斜面の崩壊形態は、研究者によって様々な定義がある。例えばシラス自然斜面では「表層剥離、表層滑落、表層落下」の3つに分類したもの⁴⁾、シラス人工斜面では「斜面内崩壊、全面侵食、地すべり崩壊、のり崩壊、のり尻崩壊、雨裂」といった分類も見られる³⁾。これらのタイプについて分けた上でSSEモデルの評価精度を検討することも想定できるが、結果の比較・解釈が難しいだけでなく、信頼性の問題もある。本研究ではまず第1にシラス自然斜面に対象範囲を絞った上で、地形や表層等の素因の面からの分析として、崩壊発生履歴のある箇所はすべて現状型トレーニングデータの候補とする。シラス自然斜面崩壊の場合、前述したとおり崩壊発生が広域に及ぶことから、現状型トレーニングデータの候補は、かなりの数になる。SSEモデルでは、トレーニングデータを基準として、これに類似する土地の箇所を抽出するといった、いわゆる地形分析的アプローチと言える。そこで、本研究では、現状型トレーニングデータとして「規模の大きい代表的な崩壊地」をトレーニングデータとして選定した。

現状ではトレーニングデータの設定基準を明示する

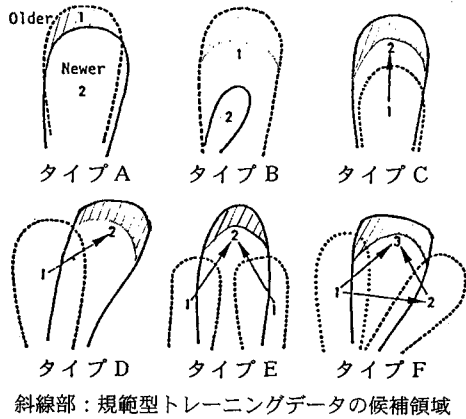


図-1 侵食崩壊のタイプ⁴⁾ (平面図)

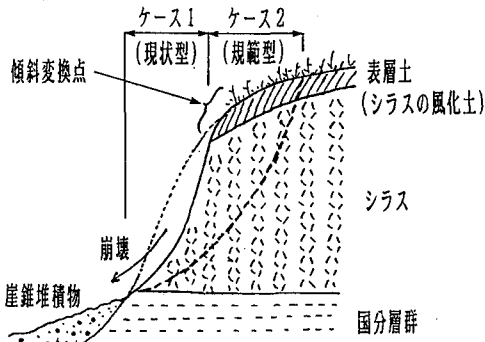


図-2 トレーニング領域の定義 (断面図)

ことは困難であるが、本研究で選定した現状型トレーニングデータを用いて、その他の崩壊履歴のある箇所を含めてほぼ全域にわたって危険箇所として判定されることが確認されている。このことが、従来までの現状型トレーニングデータによる評価図だけでは潜在危険斜面を特定する上での問題であり、後述する規範型トレーニングデータの提案へと展開する。

なお、崩壊タイプ別の詳細な検討については、現状型評価図そのものの評価精度の向上の問題として今後の課題としたい。

(2) 規範型トレーニングデータ

シラス自然斜面の侵食を平面図として表すと、一般に図-1のようなタイプに分けられる。図中の番号が崩壊の順序を表している。侵食プロセスの詳細については、既に数多くの研究成果があり、文献(4)等に記載されているので割愛するが、いずれも斜面冠頂部と斜面内あるいは斜面脚部の侵食が相互に関係しあって進行していく。本研究ではまさにこの点に着目し、侵食斜面や滑落崖の冠頂部周辺を「規範型トレーニングデータ」とする。過去に崩壊発生のない箇所の冠頂

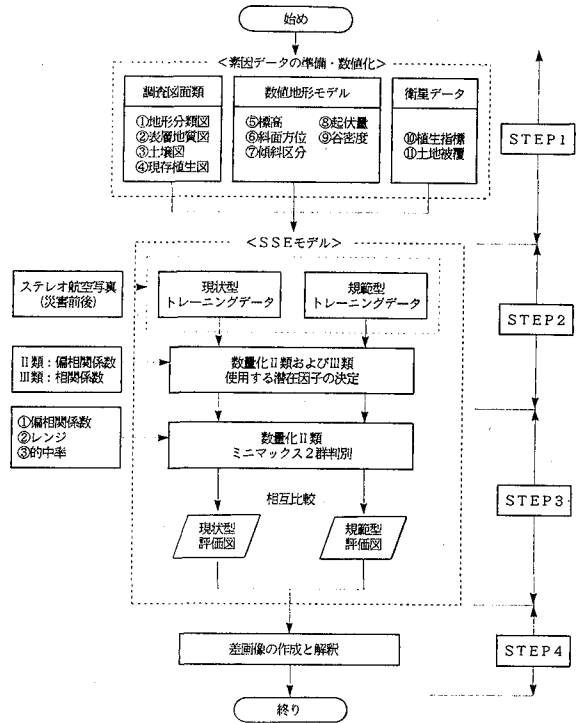


図-3 本研究の全体構成

部周辺も規範型トレーニングデータの候補となる。規範型トレーニングデータの選定には専門家の知見を加味することができ、利点の一つと言える。本研究では、崩壊後の斜面の冠頂部はさらに侵食崩壊の危険性(崩壊の周期性)があることから、この箇所を規範型トレーニングデータとして選定した。その他の規範型トレーニングデータの設定については、今後の課題とする。

前述した現状型トレーニングデータとの関係を判り易くするために、図-2に斜面断面の模式図を示した。規範型トレーニング領域を設定することによって、シラス自然斜面では特定することが難しい傾斜変換点を内包した崩壊危険箇所の評価や侵食過程で問題として指摘されている潜在危険斜面の評価も期待できる。

以降では、現状型と規範型のトレーニングデータを用いた2つのケースについて論述を進めるが、それぞれを現状型評価、規範型評価と呼ぶこととする。

4. 研究の構成

本研究の構成を図-3に示す。

(1) STEP1: 領域設定と素因データの準備

a) 対象領域

評価対象領域は、鹿児島県吉田町に位置する佐多浦

表-1 素因データ

土地分類基本調査図面から作成			
表層地質	現存植生	土 壌	地形分類
砂、礫	ササヅク群落	粗粒風化火山	中起伏火山地
泥、砂、礫	ミシバ・ササヅク群落	黒ボク土	丘陵地
泥岩	ホト、ヒバ、ササヅク	乾性褐色森林土	シラス台地
シルト岩	マカサカサ	褐色森林土	谷底平野
シラス	畑地雑草群落	粗粒灰色低地土	崖
海結凝灰岩	水田雑草群落	粗粒灰色低地土	火山麓地
安山岩質岩石	緑の多い住宅	灰色低地土	
	常緑果樹園	グライ土	
		市街地、その他	
DTMから作成		衛星データから作成	
標高	傾斜	起伏量	斜面方位
0~50	0~5	0~5	北
50~100	5~10	5~10	北北東
100~150	10~15	10~15	北東
150~200	15~20	15~20	東北東
200~250	20~25	20~25	東
250~	25~30	25~30	東南東
以上~未満	30~35	30~35	南東
単位：m	35~40	35~40	南南東
	40~	40~	南
	以上~未満	以上~未満	南南西
	単位：度	単位：m	南西
			西南西
			西
			西北西
			北西
			北北西
			平坦
			谷密度
			0間
			1
			2
			3
			4
			5
			植生指標
			LA#1
			LA#2
			LA#3
			LA#4
			LA#5
			LA#6
			LA#7
			LA#8
			LA#9
			LA#10
			LA#11
			LA#12
			LA#13
			LA#14
			土地被覆
			樹林
			市街地
			水田
			裸地

地区である。この地区はシラスの侵食谷と侵食崖が広く分布し、1993年8月の集中豪雨によって広域にわたって数多くの崩壊が発生している⁸⁾

b) 素因データの準備

本研究で使用した素因データを表-1に示す。土地分類基本調査の成果図面を数値化した土地分類図(地形、表層地質、土壌、現存植生)と数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model¹¹⁾)からコンピュータ処理によって作成される数値地理データ(標高、斜面方位、傾斜区分、起伏量¹²⁾、谷密度¹³⁾)である。これらは土地に内在する潜在的な因子であり、崩壊危険箇所の評価を進める上で基本となるものである。

c) 衛星データの選定

本研究では20mピクセル¹⁴⁾という高分解能を有し、広く利用されているSPOT-HRVデータ¹⁵⁾を用いた。データの観測時期は、1993年3月4日、観測エリアはPATH315-ROW286であり、ノイズのない良質なデータを選定した。この衛星データから教師付き最尤法を用いて土地被覆分類図を作成し、素因データの一つとする。これはSSEモデルにおける衛星データの一般的な適用方法であるが、シラス台地では地形の遷緩線や遷急線の近辺における植物の生育状態が崩壊発生¹⁶⁾の周期性と因果関係があると言われていることから¹⁷⁾、衛星データから計算される植生指標(NVI: Normalized Vegetation Index¹⁸⁾)も素因の一つに加えた。

(2) STEP2: データ構造の分析 (5章)

本研究では、1993年8月の集中豪雨によって崩

壊が発生した箇所を現状型トレーニングデータとして設定した。さらに、滑落崖や崩壊斜面冠頂部近辺を規範型トレーニングデータとして設定する。広域にわたってトレーニングデータを選定することから、崩壊発生前後それぞれにおいてステレオ空中写真を購入し、立体視鏡を通してトレーニング領域を選定した。図-3で示したSSEモデルでは、設定した素因のうち(表-1)、崩壊危険箇所評価に使用する素因の決定問題と素因のデータ構造分析に数量化Ⅲ類を導入している¹¹⁾。本研究では、特に現状型および規範型トレーニングデータの性質について分析する点が特色となる。

(3) STEP3: 現状型と規範型評価図の分析 (6章)

現状型と規範型トレーニングデータから、それぞれ斜面安定性評価図を作成し、崩壊危険箇所の評価精度の違いを定量的に分析(数量化Ⅱ類)する。さらに斜面安定性評価図上にどのような違いが現れるのかについて検討するとともに、現状型評価図だけでは侵食崩壊の危険性のある箇所を見い出していく上で限界があることを示す。

(4) STEP4: 差画像の作成とその解釈 (7章)

STEP3で指摘した問題に対する対策として、現状型と規範型評価図の違いを表現した差画像を作成し、その解釈の内容を示す。

5. データ構造の分析

(1) 使用する素因データの決定

SSEモデルでは、数量化Ⅲ類を用いてあらかじめ設定した素因間(表-1)の相関係数を計算するとともに、互いに相関の高い素因のいずれか一方を除去した上で斜面安定性評価図を作成する。これは後述する数量化Ⅱ類による分析の信頼性を保証する上で、SSEモデルにおける重要な処理プロセスに位置付けられている。

a) 現状型トレーニングデータを用いた場合

潜在因子間の相関係数を表-2(a)に示した。ここで、相関の高い素因の組を判断する「いき値」が問題となるが、筆者らの今までの検討と統計処理上の一般的な判断として、本研究では0.7以上のものを削除の対象となる組とした。表中、枠で囲った箇所が該当する。さらに、これらの組のうち、いずれか一方を除去する際の指標として数量化Ⅱ類の偏相関係数を用いる。

表-2(a)では、判りやすくするために偏相関係数の高い素因を上から順に記載してある。これより使用する素因は「傾斜区分、標高、斜面方位、土壌、谷

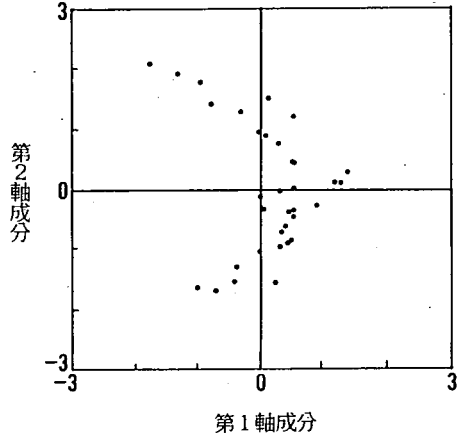
表-2 素因間の相関係数(数量化Ⅲ類)

(a) 現状型トレーニングデータを用いた場合

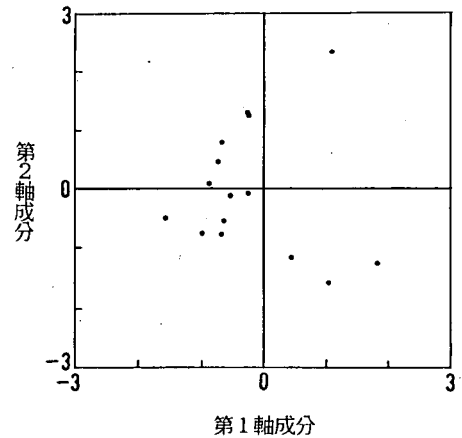
素因	傾斜	標高	斜面	表層	土壌	谷密	現存	起伏	植生	地形
傾斜	○									
標高	○	○								
斜面	○	○	○							
表層	○	○	○	○						
土壌	○	○	○	○	○					
谷密	○	○	○	○	○	○				
植生	○	○	○	○	○	○	○			
起伏	○	○	○	○	○	○	○	○		
植生指標	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
地形	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
被覆	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(b) 規範型トレーニングデータを用いた場合

素因	標高	起伏	傾斜	斜面	表層	土壌	現存	谷密	植生	地形
標高	○									
起伏	○	○								
傾斜	○	○	○							
斜面	○	○	○	○						
表層	○	○	○	○	○					
土壌	○	○	○	○	○	○				
植生	○	○	○	○	○	○	○			
谷密	○	○	○	○	○	○	○	○		
植生指標	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
地形	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
被覆	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○



(a) 現状型トレーニングデータ



(b) 規範型トレーニングデータ

図-4 個体数量散布図(数量化Ⅲ類)

密度, 植生指標, 土地被覆」の7種類となる。

b) 規範型トレーニングデータを用いた場合

規範型トレーニングデータを用いた場合の素因間の相関係数は表-2(b)である。前述と同様な処理にしたがって、使用する素因は「標高, 起伏量, 斜面方位, 土壌, 谷密度, 植生指標, 土地被覆」の7種類となる。以上の素因選定結果から次のことが考察できる。

①現状型と規範型評価ともに、衛星データから作成される植生指標と土地被覆が残されていることは興味深い。衛星データがシラス侵食崩壊の評価に寄与できることを示唆している。

②現状型評価と規範型評価において、選定された素因の違いは傾斜区分と起伏量である。現状型評価では傾斜区分因子, 規範型評価では起伏量が採用される。つまり、規範型評価では選急領域を含めて起伏量が寄与することが期待される。

(2) 現状型と規範型トレーニングデータの分析

前述のとおり、現状型と規範型トレーニングデータそれぞれに対して、モデルの信頼性を保証するために「相関の高い素因の組み合わせのうち」いずれか一方の素因を除去している。したがって、必ずしもこの素因の違いが、評価結果に反映されるとは限らない。そこで、数量化Ⅲ類によるデータ構造の分析を通して、現状型と規範型トレーニングデータの性質の違いの有無について分析する。数量化Ⅲ類は、目的変数を設定せずにスコア値が付与された個体の分布状態からデータ構造の分析を行うものである。SSEモデルにおける数量化Ⅲ類の適用概念は文献(1)に詳述しているので紙面の都合上割愛するが、トレーニングデータ

に対する個体数量散布図上での分布状態の違いによって、土地の性状の違いの有無を裏付けることができる。

対象領域の全個体(画素)に対する個体数量散布図を図-4に示す。なお、第1軸から第3軸までの固有値(λ_n)は、

現状型評価: $\lambda_1=0.439, \lambda_2=0.262, \lambda_3=0.229$

規範型評価: $\lambda_1=0.434, \lambda_2=0.255, \lambda_3=0.228$

である。いずれも第3固有値は、第1および第2固有値に比べて比較的小さいことから、ここでは第1軸と第2軸で構成される特性空間内で分析した結果を示す。

図-4を見ると、現状型トレーニングデータでは分布状態が左に開いたV字型を呈している。規範型トレーニングデータでは、逆に右に開いたV字型となっており、現状型と規範型のトレーニングデータの性質の違いは明らかである。この違いが評価図上に反映されるものと推察できる。次章では、さらにトレーニング

表-3 数量化Ⅱ類による分析結果

(a) 現状型評価

本 因	傾度	カテゴリ 数値	偏相関係数 (レンジ)	本 因	傾度	カテゴリ 数値	偏相関係数 (レンジ)
以上～未測	4623	0.149		0～5度	2493	0.189	
0～50m	0.290	0.198		5～10度	2068	0.355	
50～100m	0.290	0.198		10～15度	2334	0.290	
100～150m	3809	-0.528	0.043	15～20度	2479	0.206	0.061
150～200m	1297	-0.159	(2.911)	20～25度	2156	0.182	(2.556)
200～250m	215	1.469		25～30度	1890	0.215	
250m～	45	3.312		30～35度	1315	-0.282	
				35～40度	764	-1.111	
				40度～	581	-2.201	
北	1801	0.182		傾斜面北火山	668	-0.334	
北北東	1156	-0.268		東火山	605	0.451	
北東	1307	0.048		土	491	-1.995	
東北東	1047	-0.719		酸性棕色森林土	9742	0.038	0.039
東	1193	-0.485		褐色森林土	170	-0.033	(2.448)
東南東	913	0.444		褐色灰色腐植土	329	-0.17	
南東	1214	0.277	0.043	褐色灰色腐植土	3590	0.122	
南	995	0.318	(1.232)	灰色腐植土	215	0.05	
南南東	956	0.405		グライト	284	-0.287	
南西	882	0.431		市街地その他	13	0.482	
西南西	637	0.054		レベル1	53	0.403	
西	824	-0.355		レベル2	172	0.043	
西北西	656	-0.824		レベル3	265	0.134	
北西	833	-0.458		レベル4	397	0.137	
北北西	816	0.238		レベル5	751	-0.268	0.018
北西	556	0.513		レベル6	1320	-0.254	(1.270)
平均	383	-0.131		レベル7	2212	-0.053	
				レベル8	2778	0.056	
谷	11424	0.154		レベル9	3176	0.093	
谷1	1494	-0.202		レベル10	2837	-0.141	
谷2	2445	-0.583	0.033	レベル11	1803	0.121	
谷3	615	0.145	(2.070)	レベル12	504	0.481	
谷4	89	-0.198		レベル13	45	1.003	
谷5	7	0.027		外約	41	-2.189	
土	11352	-0.027		標準	18053	0.006	
土	822	0.061	0.007				
地	2608	-0.010	(0.243)				
市	1291	0.218					

(b) 規範型評価

本 因	傾度	カテゴリ 数値	偏相関係数 (レンジ)	本 因	傾度	カテゴリ 数値	偏相関係数 (レンジ)
以上～未測	4623	0.253		以上～未測	4240	0.209	
0～50m	6268	0.432		0～5m	5032	0.251	
50～100m	3823	-0.994	0.040	5～10m	3974	-0.091	0.029
100～150m	1297	-0.568	(3.734)	10～15m	1928	-0.715	(3.148)
150～200m	215	1.322		15～20m	719	-0.274	
200～250m	45	2.741		20～25m	222	-0.903	
				25～30m	24	1.577	
				30～35m	6	2.241	
				35～40m			
北	1801	0.183		北	1801	0.183	
北北東	1156	-0.224		北北東	1307	0.180	
北東	1307	0.180		北東	1047	-0.352	
東北東	1047	-0.352		東	1198	0.081	
東	1198	0.081		東南東	913	0.410	
東南東	913	0.410		南東	1214	0.518	0.027
南東	1214	0.518	(1.588)	南南東	995	0.009	
南	995	0.009		南	956	-0.055	
南南東	956	-0.055		南西	882	0.508	
南西	882	0.508		西南西	637	0.078	
西南西	637	0.078		西	824	-0.256	
西	824	-0.256		西北西	833	-0.920	
西北西	833	-0.920		北西	816	-0.828	
北西	816	-0.828		北北西	556	-0.300	
北北西	556	-0.300		平均	383	-0.089	
平均	383	-0.089					
谷	11424	0.131		谷	11424	0.131	
谷1	1494	-0.411		谷1	1494	-0.411	
谷2	2445	-0.411	0.016	谷2	2445	-0.411	0.016
谷3	615	0.184	(0.584)	谷3	615	0.184	(0.584)
谷4	89	0.081		谷4	89	0.081	
谷5	7	0.058		谷5	7	0.058	
土	11352	-0.013		土	11352	-0.013	
地	822	0.051	0.003	地	822	0.051	0.003
市	2608	-0.027	(0.182)	市	2608	-0.027	(0.182)
標準	1291	0.154		標準	1291	0.154	

データを外的基準として数量化Ⅱ類による分析を行い、素因データのカテゴリー分析を進める。

6. 現状型評価図と規範型評価図の分析

(1) 数量化Ⅱ類による分析

SSEモデルは、外的基準であるトレーニングデータと素因との因果関係を分析する機能に数量化Ⅱ類を適用している。現状型と規範型評価それぞれに対して処理した結果を表-3に示した。なお、表-3の評価対象データとはトレーニングデータ以外のすべてのデータである。

外的基準の欄を見ると、トレーニングデータに対して負の値、評価対象データには正の値が付与されており、数量化Ⅱ類では、この符号の違いから「外的基準と各カテゴリーとの関連性」を分析できる^{11, 2)}。現状型と規範型評価の違いに着目して分析すると、以下のようにまとめられる。

①素因の偏相関係数について：表-3から偏相関係数の高い順に素因を列挙すると次のようになる。

- 現状型評価：傾斜区分、斜面方位、標高、土壌、谷密度、植生指標、土地被覆
- 規範型評価：標高、斜面方位、土壌、起伏量、谷密度、植生指標、土地被覆

現状型評価では傾斜区分が、規範型評価では標高因子が上位に位置している。また、現状型、規範型評価ともに斜面方位、土壌、標高因子が上位にあり、これらの素因がトレーニングデータを説明付ける上で寄与するものと推察される。

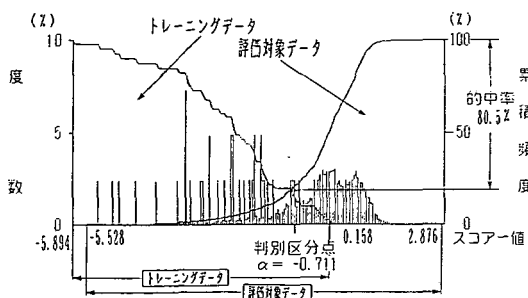
前述した数量化Ⅲ類による素因選定段階では、衛星データ因子が残され、その適用効果が期待されたが、ここでの分析（数量化Ⅱ類）では衛星データ因子については下位にあり、当初期待した寄与の程度とは相反する結果となっている。さらに、素因を構成するカテゴリーについて特徴のある点に着目して分析する。

②傾斜区分因子について：表-3(a)の傾斜区分因子を見ると、30度以上の急傾斜面のカテゴリー数値が負の値を示し、現状型トレーニングデータの性質を表していると言える。

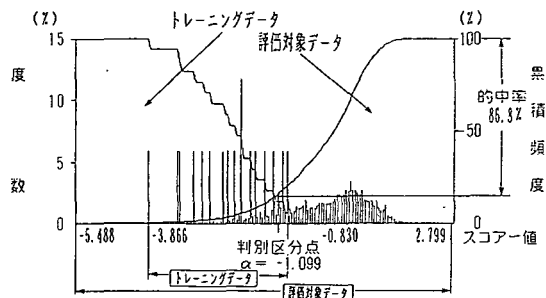
③斜面方位因子について：規範型評価では現状型評価に比べて、「西」～「北北西」のカテゴリーがトレーニングデータを説明する上で寄与する傾向が強い。侵食崩壊では選急線の上部近辺で傾斜面が変化する領域が、規範型トレーニングデータに反映できるものと期待できる。

④起伏量因子について：斜面の選急領域や滑落崖の近辺では、起伏量が急に大きくなる。表-3(b)を見ると、起伏量10m～30mの範囲のカテゴリー数値が負の値を示し、起伏量30m以上では正の値が付与されている。このことから、規範型トレーニングデータを設定することによって、選急領域を含めた評価が可能となるものと期待できる。

その他の素因のカテゴリーについては、現状型と規範型評価の間で、特に有意な違いは認められないが、以上のような現状型と規範型トレーニングデータに対する分析結果の違いが斜面安定性評価図上にどのような違いとなって現れるのかについて、さらに分析する。



(a) 現状型評価



(b) 規範型評価

図-5 ミニマックス2群判別結果

表-4 ミニマックス2群判別結果

判別事象		現状型評価	規範型評価	評価図上の色付け	
判別前	トレーニングデータ	41	38	—	
	評価対象データ	16, 159	16, 162	—	
2群判別後	トレーニングデータ	危険性有 危険性無	33 8	33 5	赤色 青色
	評価対象データ	危険性有 危険性無	2, 945 13, 214	2, 686 13, 476	緑色 白色
	合計	危険性有 危険性無	2, 978 13, 222	2, 719 13, 481	—
	的中率		80.5%	86.8%	

表-5 現状型評価図と規範型評価図の凡例

(写真-1, 写真-2参照)

トレーニングデータ (現状型と規範型)	赤色	トレーニングデータのうち、「危険性・有」として判別されたもの
	青色	トレーニングデータのうち、「危険性・無」として判別されたもの
評価対象データ	緑色	評価対象データのうち、「危険性・有」として判別されたもの
	白色	評価対象データのうち、「危険性・無」として判別されたもの

$$P = 1 - F_i(\alpha) \quad (i=A, B) \quad (3)$$

(2) 斜面安定性評価図の作成

a) ミニマックス2群判別

SEEモデルでは、数量化Ⅱ類によってスコア値が付与された個体に対して、トレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別手法を通して斜面安定性評価図を作成する。判別結果を図-5に示した。

この図に示されるように負極側と正極側からそれぞれトレーニングデータと評価対象データの累積頻度曲線を描く。つまり、トレーニングデータをAグループ、評価対象データをBグループとすると、

$$F_A(X) = 1 - \int_{-\infty}^X f_A(x) dx \quad \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f_A(x) dx = 1 \right) \quad (1)$$

$$F_B(X) = \int_{-\infty}^X f_B(x) dx \quad \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f_B(x) dx = 1 \right) \quad (2)$$

ここに、 $f_i(x)$: $i=A, B$ グループのスコア値 x の度数

と表現でき、2つの累積頻度分布 $F_A(X)$ 、 $F_B(X)$ の交点が求める判別区分点 α となる。すなわち、

Aグループとして判定される領域： $X \geq \alpha$

Bグループとして判定される領域： $X < \alpha$

であり、このときの判別の精度を表す的中率 P は、

として求められる。潜在因子モデルにおけるミニマックス2群判別に関わるその他の詳細は、参考文献

(1)に詳述してあるので紙面の都合上割愛する。

このミニマックス2群判別結果の画素数を表-4に示した。なお、表中の評価対象データとは、対象領域内にあるトレーニングデータ以外のすべての画素である。

図-5と表-4から次の2つのことが読み取れる。

①現状型と規範型評価の的中率は、それぞれ80.5%、86.8%である。トレーニングデータに対する判別精度は高く、後述する評価図の信頼性を裏付けることができる。また、図-5のミニマックス判別図から現状型と規範型評価における個体の分布状態の違いも認められる。

②表-4の合計欄を見ると崩壊の危険性・有として判別された画素は、現状型評価では2,978画素、規範型評価では2,719画素となっている。現状型トレーニングデータの候補領域が多いため、現状型評価の方が危険箇所として判定される画素が多いのは当然の結果と言える。さらに、この定量的な違いが評価図上にどのような違いとなって現れるのかを検討する。

b) 斜面安定性評価図の比較

ミニマックス2群判別を通して作成した現状型評価

表-6 差画像の解釈 (写真-3 参照)

評価の組合せ (危険性の有無)		差画像 上の 色付け	一 般 解 釈 (2群判別結果に基づく)	現地調査時の 着目点	ケース名	
ケース1 (現状型)	ケース2 (規範型)					
トレー ニング 領 域	有(緑)	有(赤)	赤	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性あり 規範型: 侵食の進行の可能性あり	危険性大	ケース1
	有(緑)	無(白)	薄赤	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性あり 規範型: 侵食の進行の可能性なし	要注意箇所 反復崩壊	ケース2
	有(緑)	有(緑)	青	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性なし 規範型: 侵食の進行の可能性あり	要注意箇所 潜在危険斜面	ケース3
	有(緑)	無(白)	薄青	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性なし 規範型: 侵食の進行の可能性なし	危険性小	ケース4
	有(緑)	有(赤)	こげ茶	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性あり 規範型: 侵食の進行の可能性あり	危険性大	ケース5
	有(緑)	無(白)	ピンク	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性なし 規範型: 侵食の進行の可能性あり	要注意箇所 潜在危険斜面	ケース6
	有(緑)	有(青)	紫	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性あり 規範型: 侵食の進行の可能性なし	要注意箇所 反復崩壊	ケース7
	有(緑)	無(白)	灰	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性なし 規範型: 侵食の進行の可能性なし	危険性小	ケース8
評 価 対 象 領 域	有(緑)	有(緑)	緑	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性あり 規範型: 侵食の進行の可能性あり	危険性大	ケース9
	有(緑)	無(白)	橙	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性あり 規範型: 侵食の進行の可能性なし	要注意箇所 反復崩壊	ケース10
	有(緑)	有(緑)	黄	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性なし 規範型: 侵食の進行の可能性あり	要注意箇所 潜在危険斜面	ケース11
	有(緑)	無(白)	白	現状型: 侵食による表層崩壊の可能性なし 規範型: 侵食の進行の可能性なし	危険性小	ケース12

注1) 斜線はトレーニングデータとして選定された画素を意味する。

と規範型評価に対する斜面安定性評価図をそれぞれ写真-1および写真-2に示した。写真-1を現状型評価図、写真-2を規範型評価図と呼ぶこととする。色の意味は表-5に示した。

現状型評価図と規範型評価図では、両者とも等高線が密になっている急崖地が一様に危険地帯として判定されている。さらに細部を見るとそれぞれの評価図上では危険箇所の違いが見られる。そこで、これらの違いについて、次章で述べる差画像を用いて、さらに検討を進める。

7. 現状型と規範型評価図の差画像の作成

(1) 差画像の作成

以上までの分析結果のもとに、本研究ではさらにステップを進め、現状型評価図と規範型評価図の違いを利用した評価方法を提案する。それぞれの評価図は、ミニマックス2群判別を通して表-5に示した4つの情報に区分されていることから、現状型評価図(写真-1)と規範型評価図(写真-2)の違いを抽出する場合には、表-6のような12種類の組合せ事象となる。この組合せに従って作成した差画像を写真-3に示した。

(2) 差画像の解釈

表-6のケース名にしたがって、評価者が下す解釈について考察する。

a) 現状型トレーニング領域に対する解釈

ケース1からケース4までは現状型トレーニング領域に着目した評価となる。

①ケース1(赤色:25画素):現状型および規範型評価ともに危険性・有と判定された画素である。侵食崩壊が発生し、繰返し侵食崩壊の危険性がある箇所として評価される。最も危険性が高く、崩壊防止対策等の検討が必要となる。

②ケース2(薄赤色:7画素):現状型評価のみ危険性・有として判定された画素である。今後も崩壊発生の危険性はあるが、斜面冠頂部や滑落崖近辺の危険性はないものとして評価される。該当画素数は7画素と少ないが、繰返し崩壊の危険性の高い領域として注意を要する。

③ケース3(青色:1画素):規範型評価に限って危険性・有として判定された画素である。侵食崩壊の進行が懸念される箇所として評価される。該当画素は1画素のみであるが、この画素が多い場合には「潜在危険斜面」として注意を要する。

④ケース4(薄青色:7画素):現状型および規範型評価ともに危険性・無として判定された画素である。

現状が崩壊地であることから、SSEモデルの判別結果に従えば危険箇所が見落されたことになる。評価者にとっては危険側の評価結果となり、入念な現地調査を要する領域となる。

b) 規範型トレーニング領域に対する解釈

ケース5からケース8までは規範型トレーニング領域に着目した評価となる。

⑤ケース5(茶色:20画素):規範型および現状型評価ともに危険性・有と判定された画素である。ケース1と同様に侵食崩壊の進行の可能性がかなり高い領域として評価される。

⑥ケース6(ピンク色:13画素):規範型評価に限って危険性・有として判定された画素である。斜面冠頂部や滑落崖近辺の侵食崩壊の進行が懸念され、「潜在危険斜面」と見なされる。現地調査時には入念なチェックを要する。

⑦ケース7(紫色:2画素):現状型評価に限って危険性・有として判定された画素である。差画像上では2画素と少ないが、この画素が多い場合には、ケース3と同様に今後も繰返し崩壊の危険性が高い箇所として注意を要する。

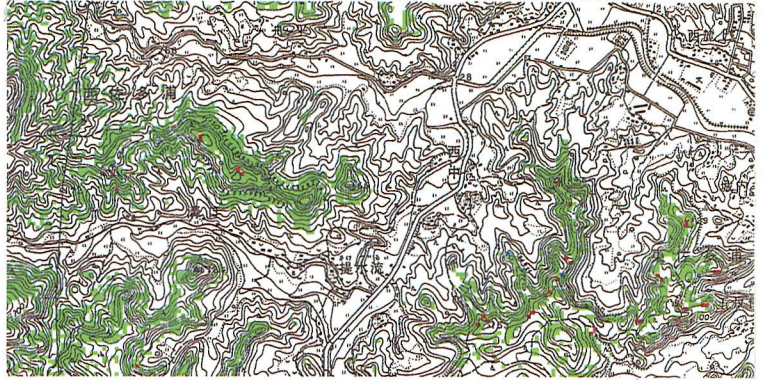
⑧ケース8(灰色:2画素):現状型および規範型評価ともに危険性・無として判定された画素である。現状は未崩壊斜面であり、安全領域として評価される。

以上までは、現状型と規範型のトレーニング領域に対する評価である。以降では評価対象データに着目し



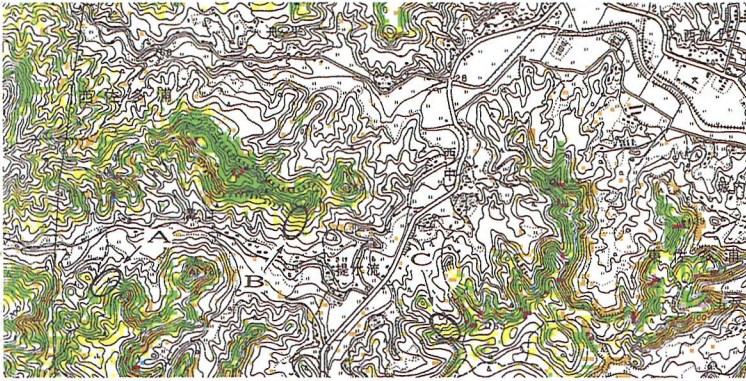
凡例：表 - 5 参照

写真 - 1 現状型評価図



凡例：表 - 5 参照

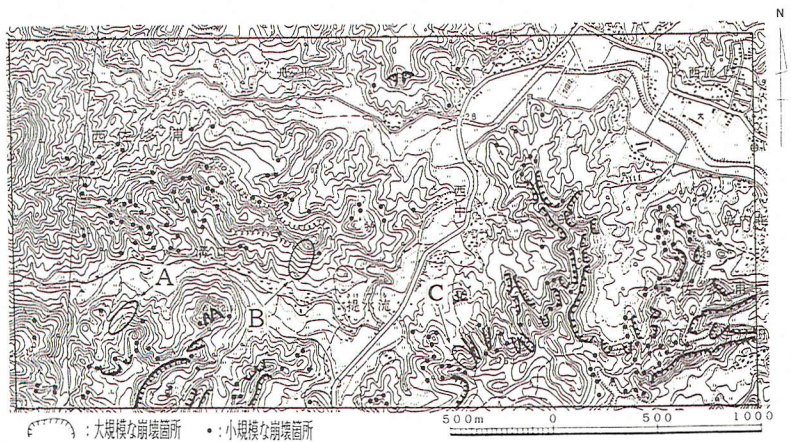
写真 - 2 規範型評価図



凡例：表 - 6 参照

写真 - 3 差画像

図 - 6 崩壊地判読結果
(災害発生直後の
ステレオ空中写
真から判読)



た解釈となる。

c) 評価対象データに対する解釈

⑨ケース9 (緑色: 1, 617画素): 現状型および規範型評価ともに危険性・有と判定された画素である。評価対象データの中では、侵食崩壊の進行の危険性が最も高い領域と見なされる。

⑩ケース10 (橙色: 1, 306画素): 現状型評価に限って危険性・有として判定された画素である。現況の既崩壊斜面において、今後も繰返し崩壊の危険性があるものと見なされる。

⑪ケース11 (黄色: 1, 043画素): 規範型評価に限って危険性・有として判定された画素である。侵食崩壊の進行が懸念される箇所と見なされる。評価対象領域の中で、まさに「潜在危険斜面」として注意すべきところであり、周囲の土地利用状況を含めて現地調査時に入念なチェックが必要となる。

⑫ケース12 (白色: 12, 157画素): 現状型および規範型評価ともに危険性・無として判定された画素である。侵食崩壊の危険性の低い領域として評価される。

以上のように現状型評価図と規範型評価図の違いを表現した差画像を用いれば、12種類の情報を通して多角的な視点から評価を展開することができる。

(3) 空中写真判読結果と差画像の比較

立体視鏡を通して、1993年8月の集中豪雨による災害発生直後のステレオ空中写真から崩壊地を判読・プロットした結果を図-6に示した。なお、この図は差画像、現状型評価図および規範型評価図と参照・比較しやすいようにまとめて前ページに掲載した。大規模崩壊地として判読された領域は、差画像上で緑色の画素(現状型、規範型ともに危険性・有)の分布とほぼ整合がとれている。また、局所的に発生している小規模な崩壊地の分布との整合も認められる。

(4) 差画像の活用

以上までの差画像に対する分析の結果をもとに、利用者の立場に立って考えると、差画像は次のような場面に活用できる。

a) 潜在危険斜面および崩壊斜面の図化・更新

差画像上で危険斜面として判定された箇所の現地調査を通して、潜在危険斜面の図化・更新といった作業に役立つ。また、前述したように差画像とステレオ空中写真を照合することによって、崩壊履歴図の作成・更新作業にも寄与できることは言うまでもない。

b) 現地調査支援(広域調査)

差画像は、現地調査計画策定時の支援情報として有用となる。例えば、写真-3の差画像上で潜在危険斜

面として判定された箇所(ケース11:黄色)のうち、特に目を引く箇所(記号A~Cで指示)をとりあげてみる。

実際に現地に赴いた結果、差画像上の記号A~Cに該当する箇所は、図-6では崩壊は認められないが、この近辺では局所的に小規模な崩壊が発生していた。麓には水田や住居があり、侵食崩壊の発生の引き金となる「潜在危険斜面」として注意を要する。現地計測等を実施し、事前に対策をとっていくことが必要な箇所となる。また、前述した表-6には、現地調査時の着眼点も記載してあるので、差画像上の情報とトレーニングデータとして設定した斜面の状況とを比較することによって、その違いがより一層明確になってくる。本研究で提案した差画像は、広域にわたる現地調査計画の立案に役立つだけでなく、調査中にも誘導的な資料として活用できる。

c) 各種現地計測計画支援(細部調査)

本研究で対象とした自然シラス斜面は、風化層と地山との間で崩壊が発生しており、両者の間には物理的にも化学的にも不連続であり、いわば物的に異質な層が斜面を覆っている。このことが風化層の厚さを知ることの重要性が指摘されている理由でもある⁹⁾。しかし、硬度計による指標硬度の測定や、室内力学試験あるいは鉱物化学的な研究は、災害後はじめて実施できるものであって、事前予知・予測問題には適用できない⁹⁾。つまり、非崩壊斜面で実施できる試験方法が必要であり、そのための対策として簡易貫入試験等があげられる。これは大がかりな設備を必要とせず携帯型であり、現地調査時の多点計測に適していることはよく知られている⁹⁾。本研究で提案した差画像上において、「非崩壊かつ潜在危険斜面」として判定された領域は、まさにこのような簡易計測を実施する候補地点となり得る。差画像の情報は、計測優先地点の選定等を含めた計測計画の立案支援、現地計測作業の効率化にも役立つ。

従来までの現状型評価図(写真-1)の情報だけでは、このような評価を展開することはできない。規範型評価を併用する意義はこの点にある。さらに、規範型トレーニングデータには専門家の知見を加味して設定できることは言うまでもなく、「潜在危険斜面」として判定された領域をさらに絞り込んでいくことも期待できる。

以上までの研究内容は、筆者らが開発したSSEモデル¹⁾から得られる評価図を組み合わせることによってのみ可能であることは言うまでもなく、現状型評価図と規範型評価図の差画像を活用して、多角的な視点から評価を展開できる点は今までにない研究の特色である。

8. 作業効率

SEEモデルは、現在パーソナルコンピュータをベースとして稼働でき、対話型操作で誰もが容易に利用できるが¹⁰⁾、表-1に示した素因データをデータセットとして整備することが必要となる。

データセットの整備には、次の3つの作業を要する。

①地理データ(地形、表層、土壌、土地利用)とDTM(数値地形モデル)を構築するためのデータの読み取りおよびコンピュータへの入力作業。

②コンピュータ処理を通して、素因データを作成する作業。すなわち、DTMからは傾斜区分、起伏量、斜面方位、谷密度を、衛星データからは土地被覆分類図および植生指標図を作成する作業。

③以上の素因データをSEEモデルに適用できるようにフォーマット変換し、データセット化する作業。

本研究の対象領域(東西3.6km×南北1.8km:180×90画素)のデータセットを整備するためには、約6日/人程度で完了する。素因データが整備されれば、現状型と規範型トレーニングデータの設定・削除はマウスを用いて簡便にでき、斜面安定性評価図も40秒程度(数量化Ⅱ類とミニマックス2群判別を合わせた処理)の計算の後に画面に表示される。また、数量化Ⅱ類やⅢ類の処理結果等も出力することができ、複雑な処理手順を要しない実用性あるシステムとなっている。

9. まとめ

(1) 研究の成果

本研究の内容と成果は、次の4点にまとめられる。

①侵食を伴うシラス自然斜面を対象とした崩壊危険箇所評価における現状の技術的課題を整理した上で、筆者らが開発したSEEモデルで取り扱う範囲を明確にした。文献および関連報告等の資料収集・調査を通して、入念なフィービリティスタディを実施し、「潜在危険斜面」を区分することの重要性を指摘した。

②侵食崩壊が発生した箇所を「現状型トレーニングデータ」とし、今後も崩壊の危険性が高いと判断される侵食斜面や滑落崖の冠頂部周辺を「規範型トレーニングデータ」として設定する方法を提案した。

③数量化Ⅱ類とⅢ類の分析を通して、現状型と規範型トレーニングデータの性質が異なっていることが確認された。評価図上にこの違いが反映されたが、現状型評価図だけでは、侵食崩壊の進行する危険箇所を区分していく上で限界のあることが明らかとなった。

④この問題に対して、現状型評価図と規範型評価図の違いを抽出した差画像を提案・作成するとともに、

その解釈の方法を示した。この差画像と解釈の内容は、シラス自然斜面に代表される侵食崩壊を伴う斜面の危険性を面的かつ広域に評価する上で、技術者支援型の情報として有用となることを示した。

(2) 今後の展望

衛星リモートセンシングデータと地理情報を融合利用して、ハザードマップを作成しようとする研究に注目されるようになってから久しくなるが、侵食を伴う崩壊問題は、特に地質分野等において世界的にも重要課題として取り上げられている¹¹⁾。本研究では、シラス自然斜面の危険性評価におけるSEEモデルの適用可能性を見出すことを第1の目的としたことから、衛星データそのものの適用効果については¹²⁾、十分に言及することができなかった。最近では、昼夜全天候型のマイクロ波センサ⁷⁾から観測されるSARデータの利用が種々の分野で注目されてきており、土壌含水量との相関が高いことも報告されている¹³⁾。また、近い将来、航空写真に匹敵する極めて高い地上分解能をもつ衛星データが入手できることも話題になっており、これらの衛星データの適用効果を検証することは興味ある課題となる。本研究で提案した差画像作成までの一連の処理アルゴリズムは、今後の研究のベースとして拡張性、発展性を有している。

斜面崩壊の予知・予測に完全な解はありえない。地すべり地や斜面崩壊箇所の現地調査や崩壊防止計画等の策定に際しては、限りある時間と労力、経費を効果的に運用するために、広域にわたって崩壊の危険性に関わる事前情報の質と量、そしてその有用性が問われる。特に、シラス特殊土で構成される斜面の危険性評価に関わる研究の歴史は古く、数多くの成果が蓄積されている^{3)、4)、14)}。本研究の内容は、そのうちのほんの一部を研究対象としたものであるが、関連方面の研究になんらかの形で寄与できれば幸いである。

謝辞:持永龍一郎博士(高速道路管理技術開発センター)、北村良介博士(鹿児島大学海洋土木工学科・教授)、下川悦郎博士(鹿児島大学農学部・教授)にはシラス斜面の安定性問題に関する貴重な資料とともに、助言を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

付録:用語解説

- 1)数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model): 格子点の標高値あるいはランダム点のX、Y、Z座標値から構成される地形データを言う。傾斜区分図、谷密度図等の作成や種々の地形分析に利用されている。
- 2)起伏量(Relief): 数値地形モデルから作成される素因データの一つ。着目する格子点と、それに隣接する8つの標高値デ

一タの中で、最大標高値と最小標高値の差を計算し、その格子点の起伏量とする。

3) 谷密度 (Valley density) : 数値地形モデルから作成される素因データの一つ。着目する格子点の標高値が、隣接する8つの標高値より低い場合に、水が流れ込む谷と見なし、この数を谷密度 (無次元) とする。8方向から流れ込む場合に谷密度は8となり、これが最大谷密度となる。

4) ピクセル (Pixel) : 画像のうちの一つ一つのデータに対する構成要素を言う。ピクセルは、画素とも言われる。各ピクセルは、空間的には画像あるいは地上で対応する寸法を有しており (地上分解能)、スペクトル的には特定のバンドの放射量に対応する値を持つ。

5) HRV (High Resolution Visible) : フランスが打ち上げた地球観測衛星 S O P T に搭載されているセンサの名称。検出器は CCD を採用し、プッシュブルーム型スキャナである。バンクマチックモード (P A) とマルチスペクトラルモード (X S) の2つによってデータが観測収集される。 X S モードでは 5 0 0 ~ 5 9 0 nm (バンド1)、6 1 0 ~ 6 8 0 nm (バンド2)、7 9 0 ~ 8 9 0 nm (バンド3) の3バンドで観測される。 X S モードの地上分解能は 2 0 m / 画素。

6) 植生指標 (Normalized Vegetation Index) : 衛星データから植生の状況を把握することを目的として考案されたもので、本研究で用いた植生指標は、次式 (A) で示される。

$$NVI = (NIR - VIR) / (NIR + VIS) \quad (A)$$

ここで、NIRは近赤外域の値、VISは可視域の値。

葉緑素が近赤外域で際だった反射を示すことを利用した比演算値による植物抽出の指標である。表-1の「レベル」は、計算された植生指標の値を14段階に等分割しクラス分けしたこと (スライス処理) を意味する。レベルが高い程、植物活性が高いものと見なされる。

7) SAR (Synthetic Aperture Radar) : 地球観測用の高分解能映像レーダ。航空機や衛星に搭載される。地形や海面の波浪、海水等を鮮やかに映し出す。レーダは高度一定の線上を直線的に進行しながら側方向、斜め方向にマイクロ波のパルスを送信し、地表面からの反射パルスを受信していく。欧州宇宙機関の打ち上げた衛星 ERS、カナダの衛星 RADAR SAT、我が国では衛星 JERS-1 に SAR が搭載されて

おり、種々の分野でこれらのデータの活用が期待されている。

参考文献

- 1) 大林成行, 小島尚人, 笠博義: 斜面崩壊予測を対象とした衛星マルチスペクトルデータの実利用化について, 土木学会論文集, No. 415/VI-12, pp. 71-80, 1990年3月。
- 2) 笠博義, 小島尚人, 大林成行: 異なった斜面崩壊のタイプに対する斜面崩壊予測システムの適用性の研究, 土木学会論文集, No. 444/VI-16, pp. 71-80, 1992年3月。
- 3) 持永龍一郎, 福山俊郎: シラスのり面崩壊に関する要因分析, 土木学会論文集, 第197号, pp. 101-110, 1972年1月。
- 4) 下川悦郎, 地頭園隆, 高野茂: しらす台地周辺斜面における崩壊の周期性と発生場の予測, 地形, Vol. 10, No. 4, pp. 267-284, 1989年。
- 5) 北村良介, 高橋史哉, 他: しらす地盤における不飽和浸透挙動の現地計測について, 土木学会第50回年次学術講演会講演集, III-67, pp. 134-135, 1995年9月。
- 6) 山田満秀, 北村良介: しらす斜面の安定解析手法の開発, 土木学会第50回年次学術講演会講演集, III-402, pp. 804-805, 1995年9月。
- 7) 藤元隆彦, 笹原克夫, 網木亮介: しらす斜面における崩壊発生位置の地形学的検討, 地すべり学会研究発表講演集, Vol. 33, pp. 17-20, 1994年。
- 8) 鹿児島大学: 1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書, 全229頁, 1994年3月。
- 9) 露木利貞, 岩松暉: 1986年7月10日梅雨末期集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関する調査研究, 自然災害科学総合シンポジウム要旨集, Vol. 24, pp. 33-46, 1987年。
- 10) 大林成行, 藤田圭一, 小島尚人, 藤井克史: パソコン斜面安定性評価支援システムにおける素因データ分析機能の開発, 土木情報システム論文集, No. 17, pp. 151-154, 1992年10月。
- 11) Chung, C.F. and A.G. Fabbri: Multivariate Regression Analysis For Landslide Hazard Zonation, Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, pp. 107-133, 1995。
- 12) 大林成行, 小島尚人, 藤井克史: 衛星マルチスペクトルデータを適用した地すべり危険箇所の評価精度の向上, 土木学会論文集, No. 516/VI-27, 1996年3月。
- 13) 淵上五郎, 沖大幹, 虫明功臣: 可視・近赤外センサとマイクロ波センサを利用した土壌含水地図の作成, 土木学会第49回年次学術講演会講演集, 共通部門, pp. 270-271, 1994年9月。
- 14) 春山元寿: 豪雨による南九州の斜面崩壊, 自然災害資料解析1, pp. 80-88, 1974年。

(1996. 9. 9 受付)

A PROPOSAL ON THE EVALUATION METHOD FOR THE DANGEROUS AREA OF THE STEEP SLOPE ACCOMPANYING THE EROSION COLLAPSE

Shigeyuki OBAYASHI, Hirohito KOJIMA and Tatsuya MURAKAMI

The setting method of the training data in the Slope Stability Evaluation model (SSE model) was newly proposed for the stability evaluation of the natural steep slope accompanying the "erosive collapse". The following two types of the training area were considered: 1) The Present situation type (P-type): Setting the training area just in the middle of the slope where the collapse has been already occurred. 2) The Normative type (N-type): Setting the training area around the upper segment of the slope regarded as the dangerous area based on the knowledge base. The difference map between two maps made by using P-type and N-type training data was derived. This difference map and its interpretation are useful as supporting information in the slope stability evaluation accompanying the erosive collapse as well as in the hazard prevention plans.